VIDEO BASIC

20 VIDEOLEZIONI DI BASIC
PER IMPARARE COL C-64

GRUPPO
EDITORIALE
JACKSON

Musica elettronica
Il sintetizzatore
Il suono del C 64
Programmare il SID
Onde e note
Programmi sonori
Videoesercizi
Videogioco n° 17

17

COMMODORE
C-64

VIDEO BASIC C64
Pubblicazione quattordicinale
edita dal Gruppo Editoriale Jackson
Direttore Responsabile:
Giampietro Zanga
Direttore e Coordinatore Editoriale: Roberto Pancaldi
Autore: Softidea - Via Indipendenza 88 - Como
Redazione software:
Francesco Franceschini, Stefano Cremonesi
Gian Pietro Canevali, Antonio Benvenuti
Ippolito Grego, Corrado Meroni
Lorenzo Fogliani
Segretaria di Redazione:
Marta Menegardo
Progetto grafico:
Studio Nuovaidea - Via Longhi 16 - Milano
Impaginazione:
Silvana Corbelli
Illustrazioni:
Cinzia Ferrari, Silvano Scolari
Fotografie:
Marcello Longhini
Distribuzione: SODIP
Via Zuretti, 12 - Milano
Fotocomposizione: Lineacomp S.r.l.
Via Rosellini, 12 - Milano
Stampa: Grafika '78
Via Trieste, 20 - Pioltello (MI)
Direzione e Redazione:
Via Rosellini, 12 - 20124 Milano
Tel. 02/6880951/5

Tutti i diritti di riproduzione e pubblicazione di disegni, fotografie, testi sono riservati.
© Gruppo Editoriale Jackson 1985.
Autorizzazione alla pubblicazione Tribunale di Milano n° 422 del 22-9-1984
Spedizione in abbonamento postale Gruppo II/70 (autorizzazione della Direzione Provinciale delle PPTT di Milano).
Prezzo del fascicolo L. 8.000
Abbonamento comprensivo di 5 raccoglitori L. 165.000
I versamenti vanno indirizzati a: Gruppo Editoriale Jackson S.r.l. - Via Rosellini, 12 20124 Milano, mediante emissione di assegno bancario o cartolina vaglia oppure utilizzando il c.c.p. n° 11666203.
I numeri arretrati possono essere richiesti direttamente all'editore inviando L. 10.000 cdu. mediante assegno bancario o vaglia postale o francobolli.
Non vengono effettuate spedizioni contrassegno.

Gruppo Editoriale Jackson

SOMMARIO

HARDWARE **2**
La musica elettronica. Il sintetizzatore. La generazione del suono. Il suono e i computer. La produzione dei suoni. Il suono e il C 64.

IL LINGUAGGIO **20**
Cos'è il suono. Struttura del suono. Le onde. Le note.

LA PROGRAMMAZIONE **28**
Programmi sonori. Scala musicale.

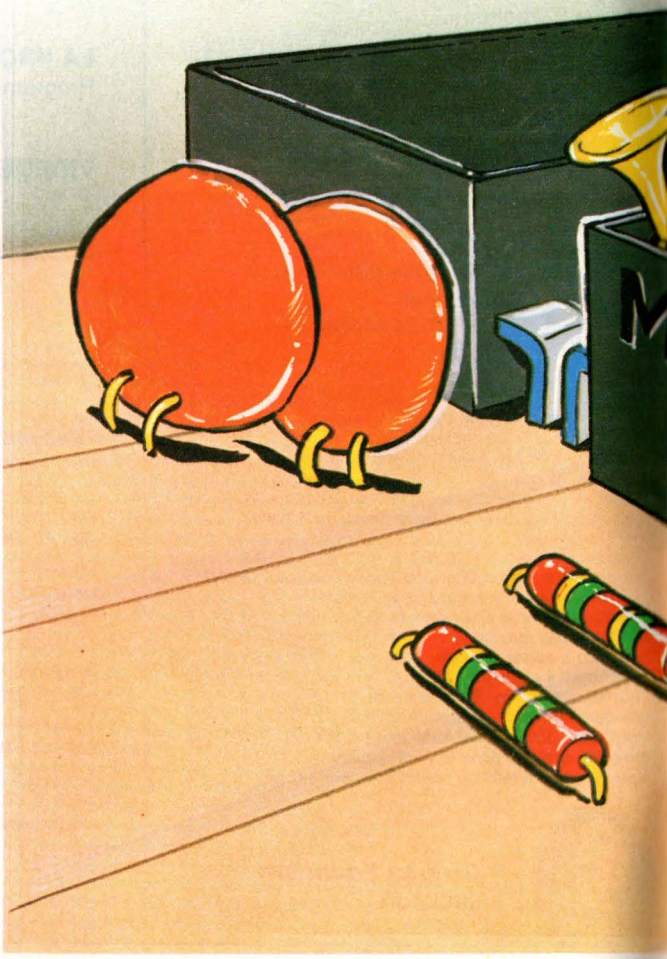
VIDEOESERCIZI **32**

Introduzione

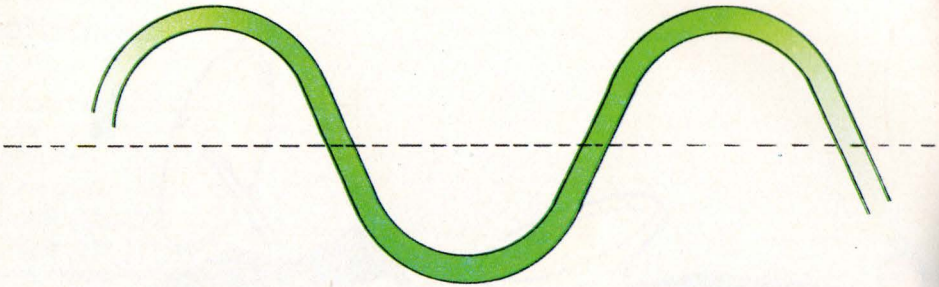
La frase ad effetto potrebbe essere: «Uno, dieci, cento strumenti musicali in uno solo: il computer!».
Il computer, più o meno sotto mentite spoglie, si è infatti aggiunto al novero dei classici strumenti musicali - quali chitarra, organo, clarino, ecc. - imitandone le sonorità o creandone di nuove.
Esistono a questo scopo sofisticate apparecchiature elettroniche degne più di un provetto programmatore che di un ispirato musicista.
Già col tuo computer, però, puoi suonare.
Non è che il tuo C 64 sia improvvisamente diventato intonato, ma solamente che le caratteristiche che compongono un suono (intensità, timbro, durata, altezza) sono riconducibili in termini numerici.
E allora ...?! Buona suonata.

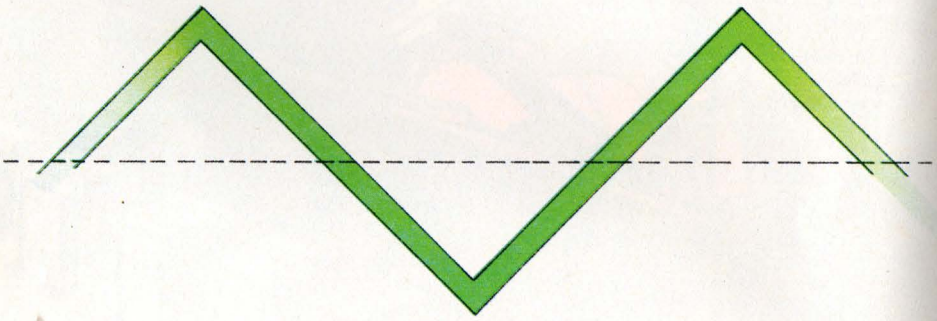
La musica elettronica

È ormai un fatto noto a chiunque come l'elettronica - sin dalla sua nascita - abbia fatto ingresso, dapprima timidamente e quindi con sempre maggiore prepotenza, anche nel settore musicale, arrivando ormai ai nostri giorni, a proporre con ritmo quasi quotidiano nuovi strumenti e dispositivi adatti a generare od imitare suoni sempre più complessi ed elaborati. Le possibilità musicali si sono estese in questi ultimi anni anche ai micro e personal computer: affronteremo quindi in questa lezione

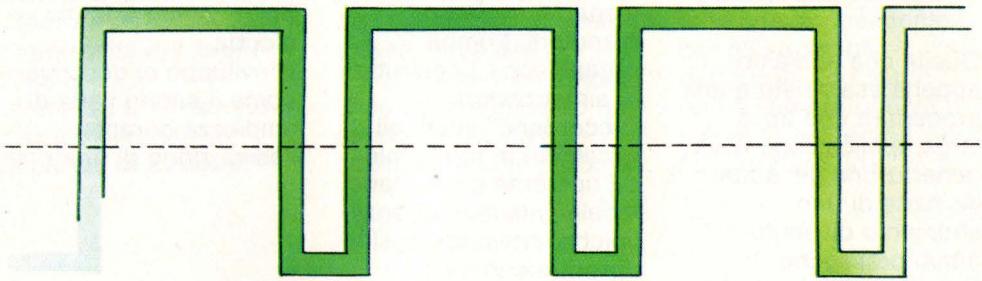


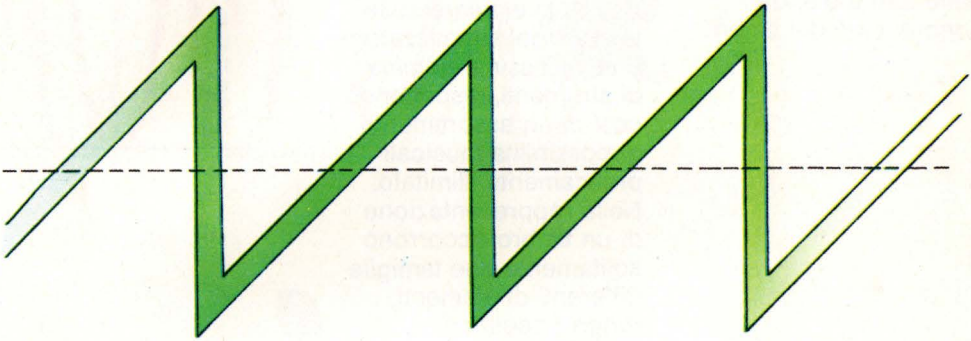
HARDWARE





l'argomento della musica elettronica in generale, addentrandoci in un secondo tempo nell'affascinante mondo della produzione e della composizione di suoni mediante elaboratore. La maggior parte dei sistemi elettronici usati per la produzione di musica utilizza come sorgente principale del segnale un componente particolare chiamato oscillatore. Un oscillatore è un circuito elettronico in grado di produrre - partendo da un ingresso costante (tipicamente una tensione) - un segnale elettrico variabile nel tempo con una certa frequenza (ossia ripetendolo diverse volte per ogni secondo). Esistono oscillatori di numerosissimi tipi, solitamente classificati in base alla forma del segnale generato: sinusoidale, ad onda quadra, ad onda triangolare, a dente di sega..... Ciascuno di essi può trovare specifiche applicazioni nell'ambito del particolare utilizzo al

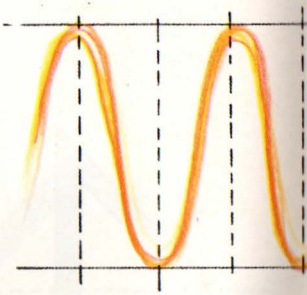


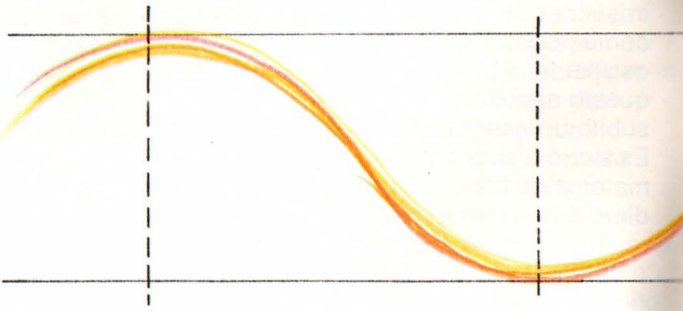


quale è destinato, oppure essere adoperato in successione o in contemporanea ad altri oscillatori. Per chiarire questo aspetto facciamo subito un esempio tipico. Esistono alcuni teoremi matematici che dimostrano come qualsiasi tipo di segnale periodico possa essere scomposto in una serie più o meno lunga (al limite anche infinita) di segnali elementari; di conseguenza, quindi, componendo gli uni con gli altri segnali elementari è possibile generare forme d'onda più o meno complicate. Ricorrendo all'uso contemporaneo di uno o più oscillatori è allora possibile riprodurre in modo "artificiale" segnali elettrici di qualsiasi tipo, durata o frequenza. Basterà pertanto conoscere tutti i parametri caratteristici di una certa onda e potremo essere in grado di ricrearla in modo relativamente semplice mediante la composizione dei diversi segnali.

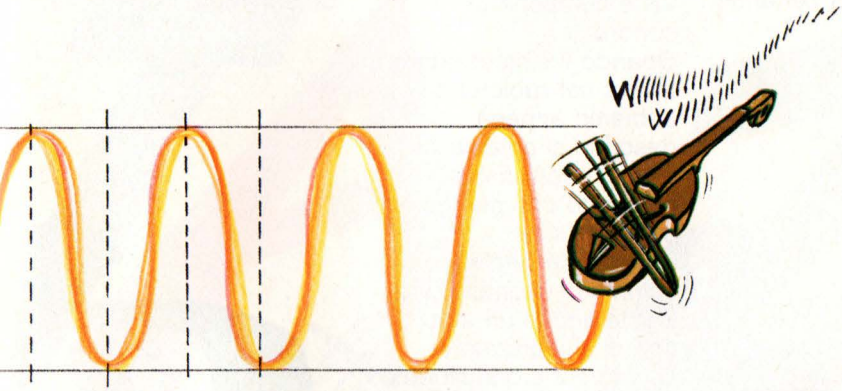
Il sintetizzatore

Quella che abbiamo appena esaminato è una procedura che trova larga applicazione nella generazione dei suoni da parte di uno strumento divenuto ormai pressoché indispensabile nella composizione e partitura della musica moderna, cioè il sintetizzatore. Partendo dall'analisi delle forme d'onda sonore, cioè dei timbri degli strumenti più disparati (violini, pianoforti, trombe, organi, ecc.), i costruttori di sintetizzatori "accordano" infatti gli oscillatori in modo tale da ripeterne più o meno fedelmente le frequenze tipiche, arrivando così a riprodurne in modo elettronico le caratteristiche tonali e timbriche. Con la semplice pressione di un pulsante è quindi possibile emulare sulla tastiera del sintetizzatore una vastissima gamma di strumenti, disponendo così di un assortimento di possibilità musicali praticamente illimitato. Nella rappresentazione di un timbro occorrono solitamente due famiglie differenti di elementi, raggruppabili nel cosiddetto inviluppo e nello spettro o forma d'onda.
L'inviluppo ci descrive come il suono varia di ampiezza durante l'esecuzione di una nota,





mentre lo spettro ci dà informazioni sulla complessità del suono stesso.
Lo spettro di un suono indica inoltre le ampiezze di ciascun componente elementare che costituisce lo spettro stesso, dove per componente elementare si considera di solito un suono sinusoidale, chiamato anche puro.
I guai saltano fuori dal fatto che normalmente per gli strumenti tradizionali lo spettro non è sempre uguale, ma varia nel tempo, per cui per dare una

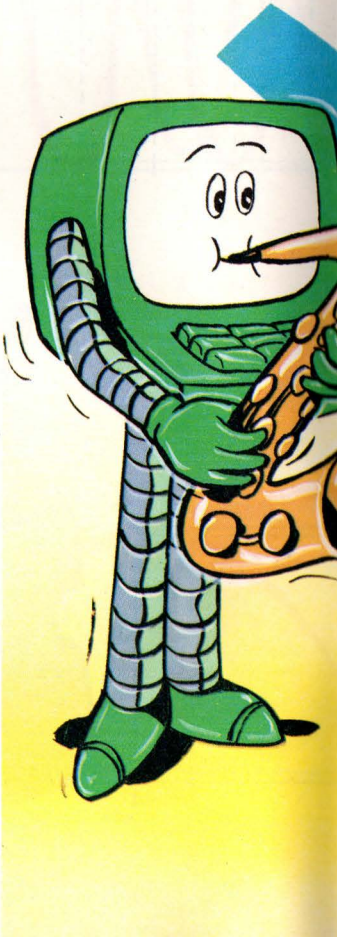

WIII

rappresentazione completa si dovrebbe indicare per ciascuna componente elementare il relativo inviluppo. Questo risulta nella maggior parte dei casi praticamente impossibile, per l'enorme quantità di informazioni necessarie. Per dare una rappresentazione sintetica dello spettro viene usata di solito la forma d'onda che corrisponde alla somma punto per punto delle varie componenti sonore.

Quando il sintetizzatore lavora nel ruolo che abbiamo appena descritto si chiama «a sintesi additiva», dal momento che giunge al segnale finale eseguendo una serie di somme di segnali-base.

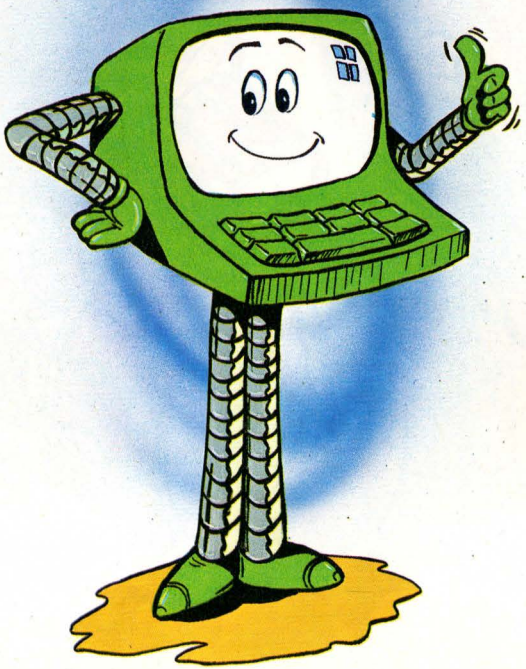
Esiste anche un altro tipo di sintetizzatore, basato sul procedimento esattamente opposto, cioè sulla «sintesi sottrattiva». Nella sintesi sottrattiva il segnale di partenza è di forma molto complessa, e viene ridotto alla forma d'onda desiderata facendolo passare attraverso una serie di circuiti elettronici chiamati filtri.

Un filtro è un dispositivo in grado di arrestare una certa componente d'onda, lasciandone passare tutta la parte restante. Esistono filtri "passa-basso" (che fanno passare soltanto la parte di un'onda a frequenza più bassa), filtri "passa-alto" (che fanno invece passare soltanto le frequenze più alte) e filtri "passa-banda" (che fanno passare tutte le componenti aventi frequenza compresa entro due limiti ben determinati).



La sintesi sottrattiva risulta tecnicamente meno difficoltosa da realizzare rispetto alla sintesi additiva, e richiede un'attrezzatura di solito meno costosa. Tuttavia questo metodo è abbastanza limitato dal numero delle forme d'onda che possono essere create

direttamente. Potrebbe sembrare che, generando un segnale iniziale contenente un numero infinito di frequenze (questo tipo di segnale si chiama "rumore bianco" e puoi per esempio sentirlo quando, sintonizzando la tua radio o il tuo televisore su una certa emittente, attraversi una zona dove non esistono segnali emessi da nessuna stazione trasmittente), sarebbe possibile risolvere il problema.
Sfortunatamente, però, occorrerebbero infiniti filtri per arrivare al segnale desiderato: la cosa è quindi irrealizzabile.
La sintesi additiva risulta quindi più versatile, mentre quella sottrattiva più semplice ed economica. Come compromesso molti sintetizzatori le offrono entrambe, generando spesso nuove ed ulteriori forme d'onda combinando segnali ottenuti con sintesi additiva e segnali prodotti mediante sintesi sottrattiva.



La generazione del suono

Una volta introdotti gli elementi fondamentali per la generazione del segnale che si vuole riprodurre occorre anche rendere questo segnale compatibile con i dispositivi adibiti alla riproduzione del segnale stesso (cioè gli altoparlanti).
Vediamo quindi - esaminando i vari elementi uno per uno - come deve essere composta la catena necessaria per ottenere alla fine un segnale avvertibile alle nostre orecchie.
Innanzi tutto il sintetizzatore deve poter generare la forma d'onda che noi desideriamo ascoltare, apportando eventualmente le modifiche o i miglioramenti che debbono essere introdotti per ottenere particolari effetti sonori (per esempio: eco, riverbero, effetto-chiesa, ecc.). Tale forma d'onda - generata come visto prima da un certo numero di oscillatori - è però costituita da un segnale di potenza molto limitata, assolutamente insufficiente per poter essere inviato direttamente agli altoparlanti. Tra gli oscillatori ed i diffusori acustici va quindi inserito un amplificatore, cioè un dispositivo capace di "rinforzare" il segnale, mantenendone intatte tutte le caratteristiche di partenza.
Una volta fatta questa operazione l'altoparlante (o gli altoparlanti) può diffondere acusticamente la forma d'onda del segnale elettrico di partenza, riprodotta stavolta per via sonora.
Ciò che un altoparlante esegue è infatti una semplice trasformazione di segnali, da elettrici ad acustici, senza inserire o togliere alcuna informazione a ciò che gli viene fornito in ingresso.
Tecnicamente la parte più importante dell'intero sistema è costituita - come ovvio - dal sintetizzatore; tutto il resto svolge, in un certo senso, funzioni secondarie (per quanto altrettanto importanti agli effetti della generazione del suono).

Il suono e i computer

Adesso che abbiamo bene in mente gli oggetti su cui possiamo operare, vediamo quali sono i modi più comuni per ottenere qualcosa di suonabile attraverso un computer.

Innanzitutto il computer deve disporre di un sintetizzatore al proprio interno o, quanto meno, di una interfaccia che lo colleghi con un sintetizzatore esterno. Occorre avere in secondo luogo la possibilità di poter comandare questo sintetizzatore: deve cioè esistere un modo - sia hardware che software - mediante il quale comunicare con il sintetizzatore. Trascuriamo per un momento questo aspetto, proponendoci di riprenderlo più avanti. Normalmente in quasi tutti i sistemi musicali basati su elaboratore si possono identificare tre fasi differenti nelle operazioni svolte: definizione dei timbri o strumenti, organizzazione delle successioni di suoni da produrre ed infine esecuzione del brano. Talvolta nei sistemi dotati di una tastiera interfacciata all'elaboratore la seconda e la terza fase possono coincidere. Nella prima fase viene creato il tipo di suono che dovrà essere usato in seguito: questo avviene facendo immagazzinare in una opportuna area di memoria del computer tutti quei valori che si riferiscono all'inviluppo e alla forma d'onda. In questo modo, durante l'esecuzione, quando l'elaboratore trova l'indicazione di un determinato timbro deve andare a leggere in quell'area di memoria tutti i dati riguardanti il timbro in questione, per poi riprodurre il suono. Nella seconda fase si deve far leggere all'elaboratore la sequenza di note da produrre, in pratica una specie di partitura, predisposta in modo tale che i vari suoni siano organizzati secondo tempi di azione crescenti (il tempo di azione indica dopo quanto tempo dall'inizio del brano deve entrare un certo suono).

HARDWARE

Ovviamente, tutti questi dati dovranno essere memorizzati su una memoria secondaria (per esempio in un file), in modo che a distanza di tempo si possa riprodurre il brano o eventualmente correggerne gli errori.

Questa seconda fase è sempre la più lunga e noiosa, e in cui è più facile sbagliare.
Nella terza fase, quando è distinta dalla seconda, l'elaboratore deve leggere ripetitivamente i dati che si riferiscono alla partitura e, fondendoli con quelli che si riferiscono al timbro, produrre il suono.
Le possibili varianti a questo schema, come abbiamo già detto prima, sono tali per cui, per esempio, nei sistemi muniti di tastiera musicale si possono introdurre direttamente i dati riguardanti la partitura, suonando, in modo da rendere più spontanea la successiva esecuzione.

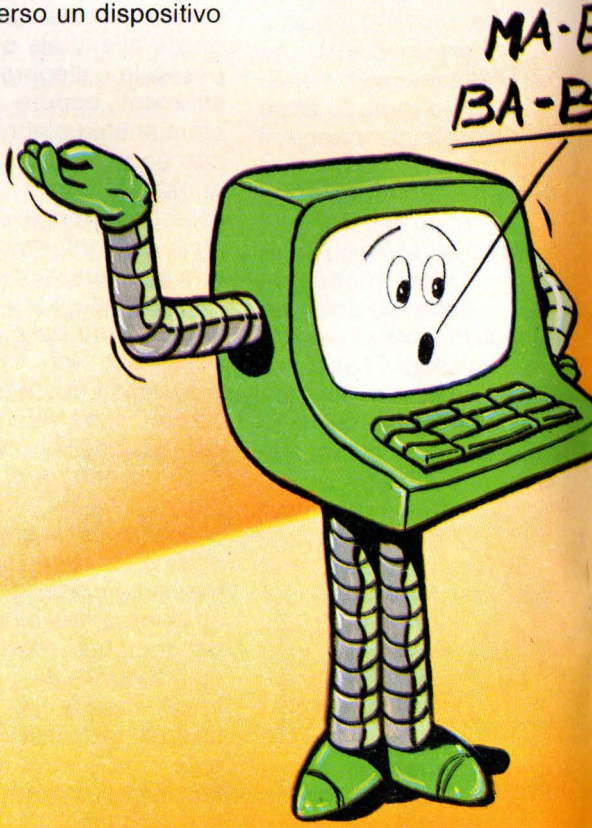
La produzione dei suoni

Si deve subito distinguere fra tre diverse tecniche e possibilità:
1) elaboratori che producono suoni attraverso i loro circuiti interni;
2) elaboratori che controllano dei dispositivi ad essi esterni (ad esempio un sintetizzatore con la relativa interfaccia);
3) elaboratori che producono suoni mediante sintesi di campionamento.
Il primo caso è il più semplice e forse quello che la maggior parte di persone ha già avuto modo di sperimentare. Si tratta sempre di piccoli micro e personal computer, che tra le altre funzioni possono anche produrre degli effetti sonori. Generalmente si tratta di un circuito integrato, situato all'interno dell'elaboratore, che può ricevere dall'unità centrale delle istruzioni in grado di fargli produrre dei suoni.
Mentre in alcuni sistemi l'accesso a questo componente viene facilitato dalla presenza di specifiche istruzioni BASIC (tuttavia a scapito di una maggiore flessibilità nella produzione sonora), in altri sistemi si opera con istruzioni a livello di linguaggio macchina, per esempio mediante PEEK e POKE.
In ogni caso, data l'estrema economicità di questi sistemi, le prestazioni - per quanto assolutamente

stupefacenti - sono abbastanza scarse, a causa del limitato numero di voci disponibili e della carenza di timbri.
Il secondo caso è quello che, allo stato attuale dei dispositivi presenti sul mercato e in base al loro costo, può dare le maggiori soddisfazioni.

La situazione più comune è quella di avere un personal computer collegato a uno o più sintetizzatori mediante una interfaccia tipo la MIDI. La MIDI (abbreviazione di Musical Instrument Digital Interface) è una interfaccia digitale che i costruttori di apparecchi musicali elettronici hanno recentemente concordato essere uno standard universale, e grazie alla quale è possibile collegare, più strumenti, oppure strumenti ed elaboratori con un semplice cavo.
In questo caso l'elaboratore riceve ed invia delle informazioni al o ai sintetizzatori, permettendo il più ampio sfruttamento delle loro possibilità. Nei programmi di utilizzo più comuni si ha sul video dell'elaboratore una riproduzione delle pulsantiere del sintetizzatore e si può agire su di esse mediante comandi all'elaboratore. Il compito del computer risulta quindi quello di trasformare la descrizione delle varie note in una serie di valori, che dovranno poi essere indirizzati ai circuiti interni del sintetizzatore. Le possibilità di questo sistema dipendono sia dalla qualità del dispositivo esterno collegato all'elaboratore sia del tipo di programma impiegato; in pratica si può ritenere che, se migliori sono i dispositivi collegati all'elaboratore, tanto migliori saranno i risultati.
Per ultimo esaminiamo il caso degli elaboratori che operano con la sintesi per campionamento. Questi elaboratori producono direttamente il segnale sonoro senza bisogno di oscillatori esterni od interni.
Prova a pensare a una forma d'onda scomposta in tanti piccoli intervallini: se noi consideriamo l'ampiezza di questi intervallini come una rappresentazione approssimata della nostra onda, considerandoli in successione ordinata, abbiamo realizzato un campionamento della forma d'onda. Vediamo quindi come avviene il processo di campionamento di un segnale: a intervalli di tempo costanti il segnale viene misurato nella sua

ampiezza e queste misure vengono memorizzate a parte. In base anche a un ragionamento intuitivo, tanto più piccoli sono gli intervalli di tempo in cui il segnale viene misurato, tanto maggiore sarà la fedeltà di riproduzione.
In un secondo tempo i numeri che rappresentano le ampiezze istantanee del segnale campionato vengono fatti passare attraverso un convertitore digitale/analogico (cioè attraverso un dispositivo che trasforma i segnali digitali in grandezze variabili con continuità, cioè analogiche), che in uscita ricostruisce il segnale originale.
Nella generazione di suoni complessi



mediante campionamento l'elaboratore costruisce allora i nuovi valori, sommando campione per campione i valori di diversi segnali elementari. Il risultato è un'onda complessa, formata dalla somma di tutte le componenti elementari usate.
I sistemi che si basano sulla sintesi per campionamento sono di solito costituiti da elaboratori molto grossi e potenti, perché la quantità di calcoli che occorrono solo per produrre un minuto di musica è molto grande. Con questa tecnica di sintesi musicale si può praticamente ottenere tutto (o quasi), ma, a parte il loro costo (veramente elevato!), questi sistemi hanno il difetto di non poter essere usati per produrre musica in tempo reale (cioè non possono eseguire le note nel momento stesso in cui effettuano i conti), come invece possono benissimo fare i sintetizzatori comandati da elaboratore.

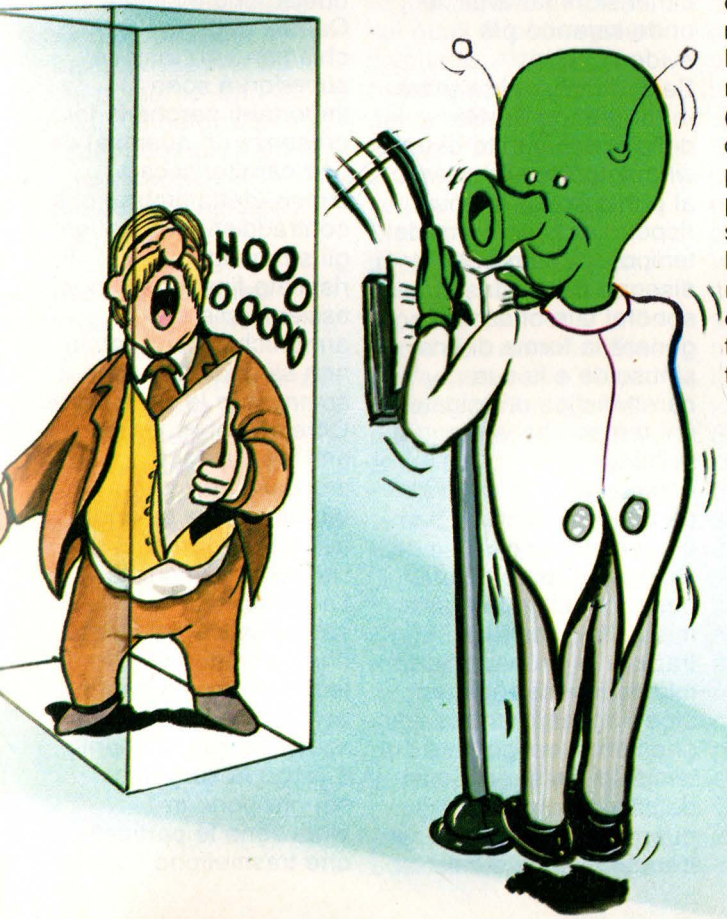
Programmando opportunamente un sintetizzatore è possibile riprodurre abbastanza fedelmente la voce umana.

Il suono ed il C 64

Come già detto prima, molti micro e personal computer dispongono di capacità e possibilità sonore. Tra questi anche il tuo Commodore 64. Esso è infatti in grado di produrre suoni e di generare musiche e rumori di moltissimi tipi. Si può addirittura dire che al momento attuale non esistono in commercio altri elaboratori provvisti di così vaste doti musicali. Come abbiamo già visto a proposito della grafica, anche l'emissione dei suoni è affidata nel computer a un circuito particolare (chiamato SID). Esso dispone di un certo numero di registri (cioè di locazioni), che possono essere usati a piacimento per impostare la musica desiderata.
Il SID è studiato in modo da poter provocare anche contemporaneamente il suono di 3 voci diverse l'una dall'altra (in pratica è come avere in mano 3 distinti strumenti). Ciascuna voce fa riferimento a determinati

HIII

registri del SID, mediante i quali è quindi possibile assegnare le singole caratteristiche sonore. Il metodo scelto dalla Commodore per il C 64 è estremamente comodo, versatile e potente: esso permette infatti - grazie alla gestione del suono da parte di un circuito integrato dedicato - di generare le musiche indipendentemente dal lavoro che in un certo momento sta svolgendo la CPU, lasciando a disposizione della stessa un tempo maggiore (e quindi una maggiore velocità) per svolgere altri compiti.
Vedremo più avanti le tecniche da impiegare per riuscire a produrre i suoni con il SID: per il momento è soltanto necessario che tu controlli, se utilizzi un monitor, che esso disponga di un altoparlante incorporato. Non disponendo al proprio interno di alcun altoparlante, il tuo C 64 invia infatti i segnali sonori (insieme ai segnali audio) al cavo che lo connette al monitor.
Mentre per il televisore non esistono problemi (quale apparecchio non dispone di volume?), parecchi monitor non prevedono uscite sonore. In questo caso l'unica soluzione per riuscire a sentire qualcosa è connettersi temporaneamente al televisore.



Cos'è il suono

Il suono - lo sappiamo benissimo - è un particolare fenomeno fisico al quale uno dei nostri sensi (l'udito) è sensibile. Esso si propaga nell'aria mediante lo spostamento ondulatorio delle varie molecole gassose che costituiscono l'atmosfera, cioè attraverso serie di movimenti in avanti e indietro delle diverse particelle rispetto ai punti in cui esse si trovano in stato di riposo.
La velocità con cui i vari cicli di movimenti (che si chiamano anche onde sonore) vengono eseguiti dipende dalla nota emessa dalla sorgente responsabile della produzione del suono. Quest'ultima è simile a quella provocata in uno stagno lasciandovi cadere un oggetto, per esempio un sasso: se l'oggetto è piccolo, le onde non saranno molto marcate, mentre se l'oggetto è di dimensioni notevoli, le onde saranno più evidenti.
Se si dovesse disegnare in un grafico l'entità dello spostamento di una singola particella attorno al punto in cui si trova rispetto al trascorrere del tempo, si otterrebbe il disegno dell'onda sonora; tale onda ha in genere la forma di una sinusoide e la sua caratteristica principale è il tempo che impiega a svilupparsi completamente, in modo da ripetersi identica per un secondo ciclo.
Questo tempo è definito periodo dell'onda e si misura in secondi o frazioni di secondi. Se si misura invece l'inverso, cioè il numero di cicli che l'onda esegue nel tempo di un secondo, si definisce un'altra quantità molto famosa: la frequenza (che si misura in cicli al secondo, o hertz).
Il suono emesso da uno strumento è sempre caratterizzato da una frequenza fondamentale, che è quella corrispondente alla nota suonata, ma che è in genere accompagnata da altre onde sonore, che hanno una frequenza multipla intera (doppia, tripla, ecc.) di quella fondamentale.
Queste onde si chiamano armoniche superiori e sono importanti perché la loro presenza (in quantità) dà una caratteristica al suono (detto timbro) che contraddistingue tra loro gli strumenti musicali. Il risultato finale dell'onda assieme alle sue armoniche è una forma non sinusoidale, ottenuta sommando le varie onde.
Oltre al timbro, esistono altri tre elementi indispensabili per caratterizzare un'onda sonora: la durata, l'altezza e l'intensità.
La durata è la caratteristica del suono che calcola lo spazio di tempo in cui un suono è percepito. La durata specifica quindi quanto a lungo la sorgente sonora pone in vibrazione le particelle che trasmettono l'onda

(composta da molecole d'aria nel caso dell'atmosfera e da molecole d'acqua per uno stagno). L'unità di misura della durata è un tempo, per esempio secondi.
L'altezza specifica invece quanto un suono è grave o acuto. Essa viene misurata in hertz: quanto più elevata è la frequenza, tanto più un suono è acuto. Il nostro orecchio potrebbe teoricamente avvertire suoni compresi tra i 20 ed i 20000 hertz: col passare degli anni (ed anche a causa del continuo inquinamento acustico cui siamo quotidianamente sottoposti) perdiamo tuttavia molte delle nostre facoltà nei confronti delle frequenze estreme, specie le più alte. Comunque, per il nostro discorso (visto che i computer e gli altoparlanti ad essi collegati non permettono prestazioni musicali troppo esasperate) la cosa non ha troppa importanza.
Il terzo elemento, l'intensità, è indubbiamente il più facile da comprendere. In effetti abbiamo quotidianamente a che fare con apparecchi come televisore, registratore, radio, ecc., sui quali si può regolare il volume. Alzando o ruotando la manopola del televisore possiamo variare l'intensità complessiva, cioè il volume dell'apparecchio. Diciamo "complessiva", in quanto abbassando il volume si abbassano proporzionalmente tutti i suoni ed i rumori diffusi dall'apparecchio. In altri termini, se immagini il televisore come uno strumento e tutti i suoni come un unico suono, il tasto "volume" agisce solo sull'elemento "intensità", lasciando invariati tutti gli altri.
L'unità di misura della intensità sonora è il decibel. Normalmente la soglia minima per riuscire ad avvertire un suono si aggira sui 20 decibel, mentre il livello oltre il quale si ha la cosiddetta "soglia del dolore" (i suoni troppo forti possono addirittura provocare danni irreversibili all'udito) è di circa 120-130 decibel.

Il suono

Poiché la gestione dei suoni nel C 64 non è affidata a specifiche istruzioni BASIC, dovremo - analogamente a quanto fatto a proposito della grafica - lavorare con i potenti comandi PEEK e POKE.
Prima di cominciare a parlare di musica è però necessario individuare con esattezza i vari registri adibiti al comando e al controllo delle diverse prestazioni ottenibili dal SID.
Il SID ha inizio alla locazione di memoria S=54272 ed è dotato di 29 registri (quindi fino a 54300). Di questi i primi 25 (25 vuol dire da 0 a 24 compresi) sono accessibili solo per scrittura, cioè possono essere impostati a un dato valore o modificati nel loro contenuto usando la POKE, ma non possono essere letti con l'istruzione PEEK.
Gli altri 4 (alle posizioni 25-26-27-28) sono invece registri di sola

lettura (cioè possono solo essere letti con PEEK). I vari registri del SID si possono immaginare suddivisi nei seguenti quattro gruppi:

54272	0	voce 1	FREQUENZA NOTA BYTE BASSO
54273	1	voce 1	FREQUENZA NOTA BYTE ALTO
54274	2	voce 1	AMPIEZZA DI PULSAZ. BYTE BASSO
54275	3	voce 1	AMPIEZZA DI PULSAZ. BYTE ALTO
54276	4	voce 1	FORMA D'ONDA (17, 33, 65, 129)
54277	5	voce 1	ATTACK - DECAY
54278	6	voce 1	SUSTAIN - RELEASE

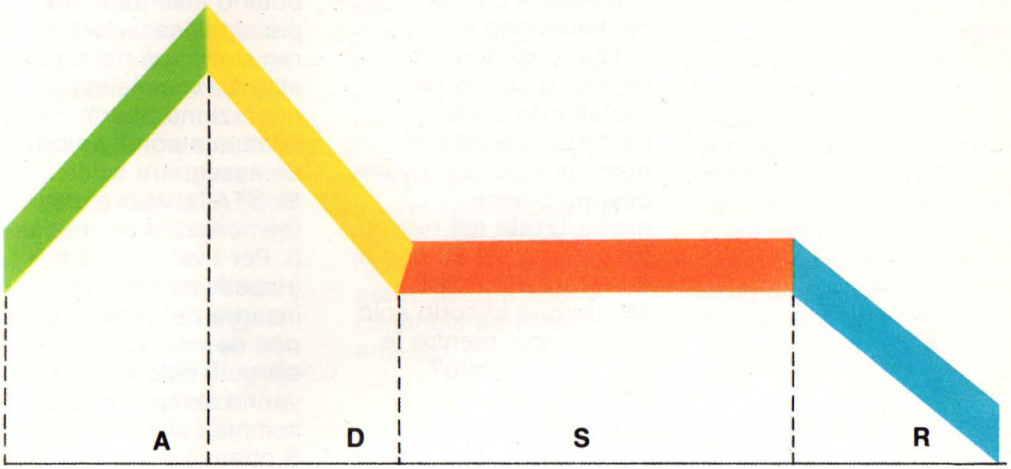
54279	7	voce 2	FREQUENZA NOTA BYTE BASSO
54280	8	voce 2	FREQUENZA NOTA BYTE ALTO
54281	9	voce 2	AMPIEZZA DI PULSAZ. BYTE BASSO
54282	10	voce 2	AMPIEZZA DI PULSAZ. BYTE ALTO
54283	11	voce 2	FORMA D'ONDA (17, 33, 65, 129)
54284	12	voce 2	ATTACK - DECAY
54285	13	voce 2	SUSTAIN - RELEASE

54286	14	voce 3	FREQUENZA NOTA BYTE BASSO
54287	15	voce 3	FREQUENZA NOTA BYTE ALTO
54288	16	voce 3	AMPIEZZA DI PULSAZ. BYTE BASSO
54289	17	voce 3	AMPIEZZA DI PULSAZ. BYTE ALTO
54290	18	voce 3	FORMA D'ONDA (17, 33, 65, 129)
54291	19	voce 3	ATTACK - DECAY
54292	20	voce 3	SUSTAIN - RELEASE

54293	21	LIMITE FILTRO DI FREQUENZA BYTE BASSO
54294	22	LIMITE FILTRO DI FREQUENZA BYTE ALTO
54295	23	SCELTA FILTRO E RISONANZA
54296	24	VOLUME E ACCENSIONE FILTRI
54297	25	LETTURA DATI X PADDLE
54298	26	LETTURA DATI Y PADDLE
54299	27	LETTURA 8 BIT ALTI OSCILLATORE VOCE 3
54300	28	LETTURA USCITA GEN. INVILUPPO VOCE 3

Struttura del suono

Ti sarà sicuramente capitato di premere il tasto di un pianoforte e di ascoltarne l'emissione sonora:
— il volume del suono sale rapidamente al valore massimo
— successivamente si attenua
— persiste fino all'istante in cui togli il dito dal tasto
— poi scende a zero rapidamente.
Per poter riprodurre lo stesso effetto sonoro con il calcolatore è possibile definire i quattro valori delle fasi di sviluppo del suono che si susseguono come nella figura A:



GENERATORE D'INVILUPPO DEL SUONO

È il tempo in cui il suono raggiunge il suo massimo volume.

È il tempo in cui il suono si porta al volume medio di persistenza.

È il tempo in cui il suono continua a rimanere attivo.

È il tempo in cui il volume si azzera.

In inglese i termini corrispondenti alle quattro lettere sono i seguenti:

ATTACK	**D**ECAY	**S**USTAIN	**R**ELEASE

Poiché non esistono termini italiani che rendano bene il concetto di queste 4 parole continueremo ad indicarle sempre in inglese o con le loro iniziali maiuscole.
Le 4 fasi, tradotte in numero e per ogni voce, devono essere memorizzate nei registri 5-6, 12-13, 19-20 con la tecnica delle POKE.
Ma perché ci sono solo due registri, mentre le fasi sono quattro?
Semplice: perché ciascuna locazione viene divisa in due parti di 4 bit. Per esempio, nel registro 5:
— la parte alta viene usata per memorizzare la durata dell'ATTACK
— la parte bassa per memorizzare la durata del DECAY.
Analogamente, nel registro 6:
— la parte alta contiene SUSTAIN
— la parte bassa contiene RELEASE.
Poiché 4 bit possono rappresentare valori da 0 a 15, avremo la possibilità di scegliere - per ciascuna delle fasi - un valore interno a questo intervallo.
Tuttavia, per memorizzare A nella parte alta del registro 5 occorrerà ricordarsi, una volta definito il suo valore, di eseguire il prodotto per 16, per poterlo inserire nei 4 bit più significativi del registro (cioè nella parte alta). La medesima operazione andrà effettuata con il valore da assegnare a SUSTAIN, valore che va memorizzato nel registro 6. Per i valori di D e R (rispettivamente da inserire nei registri 5 e 6) non devono essere eseguiti calcoli: essi vanno semplicemente sommati ai valori di A e S ottenuti dalla moltiplicazione sopraddetta.
I dati ADRS vengono anche chiamati "generatore di inviluppo" della voce ed in genere definiscono - assieme alla forma d'onda - il tipo di emissione sonora.

Le onde

Il tuo C 64 ha la possibilità di emettere onde secondo 3 tipi di forme diverse, non armoniche (cioè non sinusoidali), che vengono stabilite attivando i bit (non i byte!) numero 6, 5, 4:
— del registro n. 4 per la prima voce
— del registro n. 11 per la seconda voce
— del registro n. 18 per la terza voce.
La prima forma d'onda è chiamata TRIANGOLARE; si attiva portando a 1 il bit n. 4 del registro corrispondente (ossia inserendo il 17 nel registro). Essa possiede solo armoniche di ordine dispari. L'ampiezza di ogni armonica è proporzionale al reciproco del quadrato del numero dell'armonica.
La seconda forma d'onda è chiamata DENTE DI SEGA; si attiva portando a 1 il bit n. 5 del registro corrispondente (ossia inserendo 33 nel registro). Essa possiede tutte le armoniche; l'ampiezza di ogni armonica è proporzionale al reciproco del numero dell'armonica.
La terza forma d'onda è l'ONDA QUADRA; si attiva portando a 1 il bit n. 6 del registro corrispondente (ossia inserendo 65 nel registro).
I registri delle forme d'onda controllano anche l'emissione del suono, nel senso che quando inserisci il valore nel registro il suono comincia ad essere emesso, mentre quando cambi il valore il suono viene arrestato (17 produce per esempio il suono a onde triangolari, 16 lo blocca).
L'ultima cosa riguarda il volume di emissione: esso può essere modificato (nella stessa misura per ciascuna voce), inserendo un valore compreso tra 0 (volume minimo) e 15 (volume massimo) nella locazione 54296 del SID. Conviene comunque sempre porlo a 15, regolando eventualmente il sonoro mediante la manopola del volume sul televisore o sul monitor.
Ed ecco finalmente un programma che ti permetterà di far suonare il tuo C 64:

```
 10 SI = 54272
 20 POKE SI + 6, 240 : POKE SI + 5, 0
 25 POKE SI + 3, 8 : POKE SI + 4, 65
 30 POKE SI + 24, 15
 40 FOR L = 1 TO 10
 50 FOR M = 10 TO 50 STEP 2
 60 POKE SI + 1, M
 70 FOR N = 1 TO 10
 80 NEXT N
 90 NEXT M
100 POKE SI + 1, 0
110 FOR M = 1 TO 100
120 NEXT M : NEXT L
130 POKE SI + 24, 0
```

L'effetto di questo programma risulterà molto simile a una specie di "allarme a bordo", tipico delle navicelle spaziali. Non è neppure il caso di commentare il listato: grazie alla tabella delle locazioni del SID, potrai facilmente capire e modificare a tuo piacere tutte le istruzioni componenti l'esempio, adattandole eventualmente in maniera da produrre nuove e diverse uscite sonore.

Le note

Proviamo ora, usando una sola voce, a vedere come è possibile suonare un motivo con il computer. Sarà necessario eseguire tutte le operazioni di programmazione già viste, introdurre un ciclo che legga - una dopo l'altra - le varie note (cioè i due dati di frequenza che le individuano) e le singole durate.

Ciascuna nota è infatti definita da una frequenza, che viene riprodotta dal C 64 dopo aver memorizzato nei registri 0,1 (per la voce 1) 7,8 (per la voce 2) 14,15 (per la voce 3) il quoziente reso intero ottenuto dividendo la frequenza stessa per 0.06097 (questo numero deriva dal funzionamento del microprocessore del computer).
Se ad esempio vogliamo produrre un suono con frequenza pari a 1500 hertz, dovremo memorizzare il numero:

1500/0.06097 = 24602 = Fc (Frequenza Commodore)

operazione questa che richiederà ancora un passaggio, cioè la scissione del numero 24602 in due numeri, da inserire nei due registri:
— nel registro 1 memorizziamo la parte intera del quoziente ottenuto dividendo Fc per 256 (ti ricordi l'algebra binaria?)

INT (24602/256) = 96

— nel registro 0 memorizziamo il resto (cioè la differenza tra Fc e il contenuto del registro 1 moltiplicato

per 256). Quindi:

24602 − (256 * 96) = 24602 − 24576 = 26

Perciò: POKE SI + 0, 26 e POKE SI + 1, 96 (dove SI = 54272).

Ecco i valori da memorizzare nei due registri, corrispondenti a tutte le note eseguibili col C 64.

OTTAVA	NOTA	ALTA FREQUENZA	BASSA FREQUENZA
0	DO	1	18
0	DO #	1	35
0	RE	1	52
0	RE #	1	70
0	MI	1	90
0	FA	1	110
0	FA #	1	132
0	SOL	1	155
0	SOL #	1	179
0	LA	1	205
0	LA #	1	233
0	SI	2	6
1	DO	2	37
1	DO #	2	69
1	RE	2	104
1	RE #	2	140
1	MI	2	179
1	FA	2	220
1	FA #	3	8
1	SOL	3	54
1	SOL #	3	103
1	LA	3	155
1	LA #	3	210
1	SI	4	12
2	DO	4	73
2	DO #	4	139
2	RE	4	208
2	RE #	5	25
2	MI	5	103
2	FA	5	185
2	FA #	6	16
2	SOL	6	108

OTTAVA	NOTA	ALTA FREQUENZA	BASSA FREQUENZA
2	SOL #	6	206
2	LA	7	53
2	LA #	7	163
2	SI	8	23
3	DO	8	147
3	DO #	9	21
3	RE	9	159
3	RE #	10	60
3	MI	10	205
3	FA	11	144
3	FA #	12	32
3	SOL	12	216
3	SOL #	13	156
3	LA	14	107
3	LA #	15	70
3	SI	16	47
4	DO	17	37
4	DO #	18	42
4	RE	19	63
4	RE #	20	100
4	MI	21	154
4	FA	22	227
4	FA #	24	63
4	SOL	25	177
4	SOL #	27	56
4	LA	28	214
4	LA #	30	141
4	SI	32	94
5	DO	34	75
5	DO #	36	85
5	RE	38	126
5	RE #	40	200

OTTAVA	NOTA	ALTA FREQUENZA	BASSA FREQUENZA
5	MI	43	52
5	FA	45	198
5	FA #	48	127
5	SOL	51	97
5	SOL #	54	111
5	LA	57	172
5	LA #	61	126
5	SI	64	188
6	DO	68	149
6	DO #	72	169
6	RE	76	252
6	RE #	81	161
6	MI	86	105
6	FA	91	140
6	FA #	96	254
6	SOL	102	194
6	SOL #	108	223
6	LA	115	88
6	LA #	122	52
6	SI	129	120
7	DO	137	43
7	DO #	145	83
7	RE	153	247
7	RE #	163	31
7	MI	172	210
7	FA	183	25
7	FA #	193	252
7	SOL	205	133
7	SOL #	217	189
7	LA	230	176
7	LA #	244	103

Programmi sonori

Facendo riferimento a quanto visto a proposito del suono nella parte relativa al linguaggio, scriviamo ora un breve programma che esegua una scala di DO. I valori da inserire nei vari registri saranno quelli che avevamo già visto in precedenza. Questo è il programma:

```
10 S = 54272
11 FOR K = 0 TO 24 : POKE S + K, 0 : NEXT
20 POKE S + 24, 15
50 POKE S + 5, 31
60 POKE S + 6, 31
61 FOR H = 1 TO 8 : READ A, B, C : POKE S + 1, A
62 POKE S, B
70 POKE S + 4, 17 : FOR I = 1 TO C : NEXT I
80 POKE S + 4, 16
81 FOR N = 1 TO 50 : NEXT N : NEXT H  RESTORE
   : GOTO 61
90 DATA 34, 75, 100, 38, 126, 100
91 DATA 43, 52, 100, 45, 198, 100
92 DATA 51, 97, 100, 57, 172, 100
93 DATA 64, 188, 100, 68, 149, 100
```

Ed ecco un commento alle varie istruzioni:

10 e 11 vengono azzerati tutti i registri del SID

20 volume al massimo

50 selezione A-D (31-15 = 16, perciò A = 1, D = 15)

60 selezione S-R (31-15 = 16, perciò S = 1, R = 15)

61 ciclo di lettura dei valori di frequenza e di durata della nota e memorizzazione della parte alta della frequenza nel registro 1

62 memorizzazione della parte bassa della frequenza nel registro 0

70 selezione dell'onda triangolare (comincia l'emissione della nota) ed elaborazione di un ciclo di ritardo per la durata della nota

80 arresto della forma d'onda (si ferma l'emissione sonora)

81 ciclo di ritardo per separare ciascuna nota dalla successiva, chiusura del ciclo di lettura e RESTORE dei dati per poter ricominciare.

Se proviamo adesso a eseguire la stessa cosa con due voci, le modifiche che dovremo apportare sono poche:

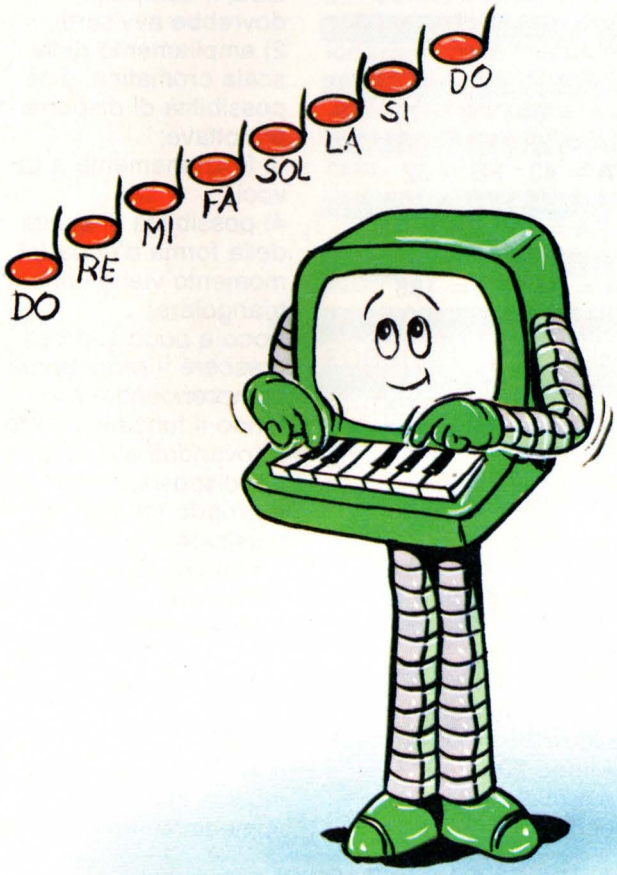
50 e 60 selezionare l'ADSR anche per la seconda voce (registri 12 e 13). Scegliamo per esempio un valore 36, pari ad A = 2, D = 4, S = 2, R = 4

61 e 62 memorizzazione dei valori delle frequenze anche nei registri di emissione della voce 2 (7 + 0 e 7 + 1)

70 e 80 accensione e spegnimento della forma d'onda (per esempio il dente di sega) per la seconda voce.

Le linee modificate sono quindi:

```
50 POKE 5 + 5, 31 : POKE S + 12, 36
60 POKE 5 + 6, 31 : POKE S + 13, 36
61 FOR H = 1 TO 8 : READ A, B, C :
   POKE S + 1, A : POKE S + 8, A
62 POKE S, B : POKE S + 7, B
70 POKE S + 4, 17 : POKE S + 11, 33 :
   FOR I = 1 TO C : NEXT
80 POKE S + 4, 16 : POKE S + 11, 32
```



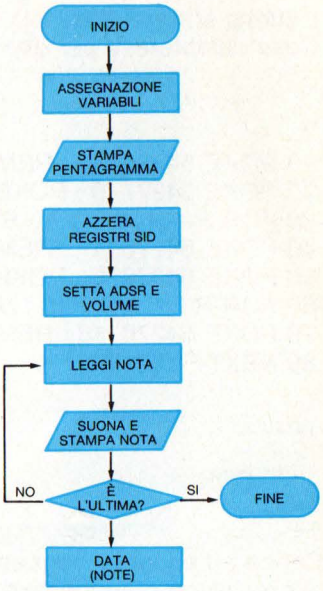
A questo punto potresti, come esercizio, provare le varie combinazioni dei valori di inviluppo del generatore dei suoni e delle forme d'onda e modificare il programma, per avere un'emissione anche sulla terza voce. Ecco infine un semplice programma che ti permetterà di comporre tutte (o quasi) le musiche che vorrai. In ingresso dovrai infatti specificare una dopo l'altra le note da suonare, includendo - quando necessario - le eventuali pause. Le note dovranno essere specificate con il loro nome (DO, RE, MI....), mentre le pause con una "P". Al massimo il programma accetta 100 note: se comunque tu desiderassi inserirne meno, basterà battere "FINE" e il tuo C 64 si metterà a suonare tutte le note introdotte fino a quel momento.

```
10 PRINT CHR$ (147)
20 PRINT "CREATORE DI MUSICA"
30 PRINT : PRINT : PRINT "SCRIVI LE VARIE
   NOTE (FINE PER TERMINARE)"
40 DIM A$ (100)
50 I = - 1
60 I = I + 1
70 PRINT "NOTA NUMERO"; I;
80 INPUT A$ (I)
90 IF A$ (I) = "FINE" THEN I = I - 1 : GOTO 200
100 GOTO 60
200 S = 54272
210 FOR K = S TO S + 24 : POKE K, 0 : NEXT
220 POKE S + 24, 15
230 POKE S + 5, 31
240 POKE S + 6, 31
300 FOR K = 0 TO I
310 IF A$ (K) = "DO" THEN FA = 34 : FB = 75
320 IF A$ (K) = "RE" THEN FA = 38 : FB = 126
330 IF A$ (K) = "MI" THEN FA = 43 : FB = 52
340 IF A$ (K) = "FA" THEN FA = 45 : FB = 198
350 IF A$ (K) = "SOL" THEN FA = 51 : FB = 97
360 IF A$ (K) = "LA" THEN FA = 57 : FB = 172
370 IF A$ (K) = "SI" THEN FA = 64 : FB = 188
380 IF A$ (K) = "P" THEN FOR M = 1 TO 100 :
   NEXT : GOTO 420
390 POKE S + 1, FA : POKE S, FB
400 POKE S + 4, 17 : FOR M = 1 TO 300 : NEXT
410 POKE S + 4, 16
420 NEXT K
```

Il programma può essere suddiviso in tre parti fondamentali:
— linee 10-100: inserimento delle varie note
— linee 200-240: controllo e preparazione del SID
— linee 300-420: esecuzione delle note.
Il programma è tuttavia ben lontano dall'essere perfetto. A titolo di esercizio potresti quindi provare ad aggiungere - una alla volta - le seguenti possibili migliorie:
1) controllo delle varie note in ingresso (se per errore batti SIL anziché SOL, il computer dovrebbe avvisarti);
2) ampliamento della scala cromatica, cioè possibilità di disporre di più ottave;
3) funzionamento a tre voci;
4) possibilità di scelta della forma d'onda (al momento viene imposta triangolare).
Poco a poco vedresti crescere il programma, comprendendone a fondo il funzionamento e ritrovandoti alla fine, a tua disposizione un vero e proprio strumento musicale.
A titolo di esempio, prova a introdurre queste note:
MI-MI-MI-P-MI-MI-MI-P-MI-SOL-DO-RE-MI-P
FA-FA-FA-P-FA-MI-MI-P-SOL-SOL-MI-RE-DO
Il tuo C 64 produrrà una musica che riconoscerai immediatamente.

Scala musicale

Gli obiettivi di questo programma sono 2:
1) stampare il pentagramma;
2) suonare la nota scritta di volta in volta.
Evidentemente, come mostra il flow chart, i passi sono sequenziali, ma la velocità di esecuzione è abbastanza elevata da dare la sensazione della istantaneità.
Riconoscerai certamente le locazioni riguardanti gli oscillatori.
Ti ricordo, invece, che la 1505 e 1465 sono locazioni della memoria schermo e che 81 è il codice schermo della pallina raffigurante la nota.




```
 5 S = 54272 : PRINT "■": X = 1505 : Y = 1465
10 FOR R = 1 TO 5 : PRINT "■"; : FOR C = 1 TO 22
15 PRINT "–"; : NEXT C : PRINT : PRINT : NEXT R
20 POKE S + 14, 0 : POKE S + 4, 0
25 POKE S + 5, 0 : POKE S + 6, 0
30 POKE S + 5, 64
35 POKE S + 6, 128
40 POKE S + 24, 15
45 READ A, B
50 FOR I = 1 TO 500 : NEXT
55 IF A = 0 THEN 85
60 POKE S + 4, 33
65 POKE S + 1, A : POKE S, B
70 X = X – 40 : Y = Y – 40
75 POKE X, 81 : POKE Y, 103 : X = X + 2 : Y = Y + 2
80 GOTO 45
85 POKE S + 14, 0 : POKE S + 4, 0
90 POKE S + 5, 0 : POKE S + 6, 0
95 DATA 34, 75, 38, 126, 43, 52, 45, 198
100 DATA 51, 97, 57, 172, 64, 188, 0, 0
```

L'effetto sonoro di questo programma è quello di una scala discendente. Cosa cambieresti per ottenere l'effetto opposto, ossia quello crescente?

```
10 POKE 54296, 15 : REM VOLUME
20 POKE 54277, 0 : POKE 54278, 240 : REM ADSR
30 FOR F = 100 TO 10 STEP − 1
40 POKE 54276, 17 : REM FORMA D'ONDA
50 POKE 54272, F : POKE 54273, F : REM NOTA
60 FOR R I = 1 TO 10 : NEXT : REM DURATA NOTA
70 POKE 54276, 16 : REM FORMA D'ONDA
80 NEXT F : END
```

A	L'INTERO PROGRAMMA
B	LA FORMA D'ONDA
C	IL CICLO DELLE FREQUENZE

Carica ed esegui il seguente programma. Cerca poi di modificarlo per renderlo più realistico o suggestivo.

```
10 POKE 54296, 15
20 FOR I = 1 TO 20 : GOSUB 30 : NEXT : END
30 POKE 54277, 123 : POKE 54278,24
40 POKE 54272, 12 : POKE 54276, 129
50 FOR N = 10 TO RND (0) * 100 + 20
60 POKE 54273, N : NEXT
70 POKE 54276, 32
80 RETURN
```

RAGGI FOTONICI

GRUPPO
EDITORIALE
JACKSON